

Analisis Kurva Karakteristik Image Plate Computed Radiography (CR) Sebagai Indikator Sensitifitas Terhadap Sinar-X

Nurul Jannah¹, Bidayatul Armynah, dan Bualkar Abdullah

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Hasanuddin

Analysis of the Characteristic Curve of the Image Plate Computed Radiography (CR) as an Indicator of X-Ray Sensitivity

Nurul Jannah¹, Bidayatul Armynah, and Bualkar Abdullah

¹Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Science
Hasanuddin University

Abstrak.*Image plate* sebagai detektor memiliki nilai sensitifitas yang berbeda dalam menangkap energi radiasi yang menembus bahan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan faktor eksposi terhadap sensitifitas *image plate* terhadap sinar-X. Analisis dilakukan berdasarkan kurva karakteristik yang dibentuk oleh densitas terhadap log exposure. Penelitian ini dilakukan dengan mengukur nilai densitas yang tercatat pada *image plate* untuk tiap tingkatan step dengan menggunakan variasi arus tabung (6,3mAs, 8 mAs, 10mAs, dan 12,5 mAs) dengan tegangan tetap. Selanjutnya pengukuran nilai densitas pada variasi tegangan tabung (60 kV, 70 kV, 81 kV, dan 90 kV) dengan arus tabung tetap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tabung paling berpengaruh terhadap sensitifitas *image plate*. Nilai sensitifitas paling baik pada respon *Image Plate* Computed Radiography dengan merek iCRco diperoleh dengan menggunakan faktor eksposi tegangan 90 kV dengan arus 6,3 mAs dan 8 mAs. Hal ini didasarkan pada kurva yang dibentuk linier dengan nilai korelasi mencapai 0,990.

Kata kunci : Sinar-X, *Image Plate*, *Computed Radiography*, Kurva Karakteristik, Stepwedge, Densitas.

Abstract.*Image plate* as detector has a different sensitivity values in capturing the energy of radiation that penetrates the material. The study aimed to determine the effect of the use of the sensitivity factor expose image plate to X-rays. The analysis was performed based on the characteristic curve formed by the density versus log exposure. The research was conducted by measuring the density values recorded on the *image plate* for each level step by using a variation of the flow tube (6.3 mAs, 8 mAs, 10mAs, and 12.5 mAs) with a fixed voltage. Next measurements of density values on the tube voltage variation (60 kV, 70 kV, 81 kV, and 90 kV) with a fixed tube current. The results showed that most affect the tube voltage sensitivity of the *image plate*. The best value on the response sensitivity of the *Image Plate Computed Radiography* with brand iCRco obtained using 90 kV voltage expose factor with the current 6.3 mAs and 8 mAs. It is based on the curve formed by the linear correlation value reaches 0.990.

Key words: X-rays, *Image Plate*, *Computed Radiography*, Characteristic Curve Karakteristik, Stepwedge, Density.

Pendahuluan

Berawal dari penemuan Sinar-X oleh William Conrad Roentgen (1895) yang kemudian dimanfaatkan untuk melihat tulang-tulang tanpa harus membedahnya terlebih dahulu. Saat ini ilmu radiologi semakin berkembang sistem radiodiagnostik konvensional perlahan ditinggalkan beralih kesistem radiodiagnostik digital salah satunya *computed radiografi* (CR).

Sistem *Computed Radiografi* (CR) memanfaatkan kemajuan teknologi dengan adanya *imaging plate* (IP) sebagai detektor digital *photostimulable phosphor* (PSP) atau *storage phosphor screen* (SPS) dalam menggantikan kombinasi sistem *film-intensifying screen* konvensional radiografi untuk menghasilkan citra. Didukung aspek pengolahan citra dan *image reader* dalam membaca IP sehingga data dapat ditampilkan dalam *liquid crystal display* (LCD) atau *cathode ray tube* (CRT), juga memiliki sistem pengolahan citra menggunakan metode *dry processing* yang mengubah data digital menjadi data analog dengan hasil akhir berupa *film laser imaging*. Penggunaan bahan PSP memungkinkan IP dapat dipakai berulang kali.⁽¹⁾

Image plate sebagai detektor memiliki nilai sensitifitas yang tinggi. IP memiliki sensitifitas yang berbeda dalam menangkap energi radiasi yang menembus bahan, prinsip dalam menghasilkan citra radiografi, energi yang sedikit mengenai *bariumfluorohalide* akan menampilkan citra berwarna putih (*radio opaque*) demikian sebaliknya.⁽²⁾

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai densitas dengan menggunakan *stepwedge* yang ditempatkan diatas *Image Plate* (IP) kemudian diekspose dengan sinar-X. Hasil penyinaran tersebut kemudian diolah menjadi kurva karakteristik *Image Plate* yang kemudian dikaji untuk menentukan nilai sensitifitas *Image Plate*.

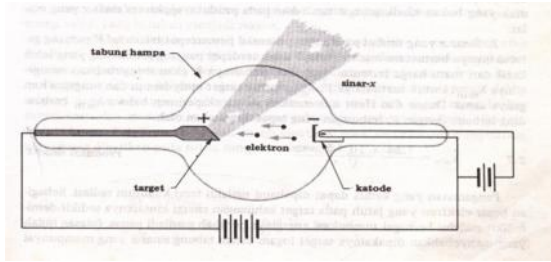
Teori

Sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen seorang berkebangsaan Jerman pada tahun 1895. Penemuannya diilhami dari hasil percobaan-percobaan sebelumnya antara lain dari J.J Thomson mengenai tabung katoda dan Heinrich Hertz tentang foto listrik. Kedua percobaan tersebut mengamati gerak elektron yang keluar dari katoda menuju ke anoda yang berada dalam tabung kaca yang hampa udara.⁽³⁾

Saat itu Roentgen bekerja menggunakan tabung. Dia mengamati nyala hijau pada tabung yang sebelumnya menarik perhatian Crookes. Roentgen selanjutnya mencoba menutup tabung itu dengan kertas hitam dengan harapan agar tidak ada cahaya tampak yang dapat lewat. Namun setelah ditutup ternyata masih ada sesuatu yang dapat lewat. Roentgen menyimpulkan bahwa ada sinar tidak tampak yang mampu menerobos kertas hitam tersebut. Pada saat Roentgen menyalakan sumber listrik tabung untuk penelitian sinar katoda, beliau mendapatkan bahwa ada sejenis cahaya berpendar pada layar yang terbuat dari *barium platino cyanida* yang kebetulan berada didekatnya. Jika sumber listrik dipadamkan, maka cahaya pendar pun hilang. Roentgen segera menyadari bahwa ada sejenis sinar yang tidak kelihatan telah muncul dari dalam tabung sinar katoda. Sinar ini kemudian disebut sebagai sinar-X.⁽⁴⁾

Pembangkit sinar-X berupa tabung hampa udara yang didalamnya terdapat filament yang juga sebagai katoda dan terdapat komponen anoda. Jika filamen dipanaskan maka akan keluar elektron dan apabila antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang tinggi, elektron akan dipercepat menuju ke anoda. Dengan percepatan elektron tersebut maka akan terjadi tumbukan tak kenyal sempurna

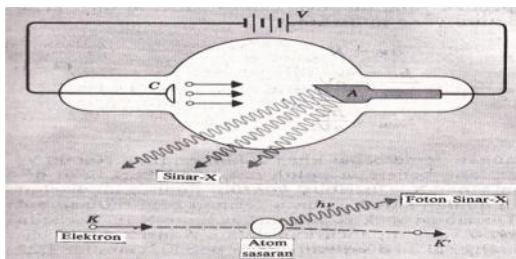
antara elektron dengan anoda, akibatnya terjadi pancaran radiasi sinar-X.⁽⁵⁾



Gambar. 1 : Tabung Pesawat Sinar-X⁽⁴⁾

Pada proses tumbukan tersebut akan menghasilkan sinar-X kontinu (bremstahlung) dan sinar-X karakteristik. Dua interaksi yang menghasilkan dua tipe sinar-X yaitu :

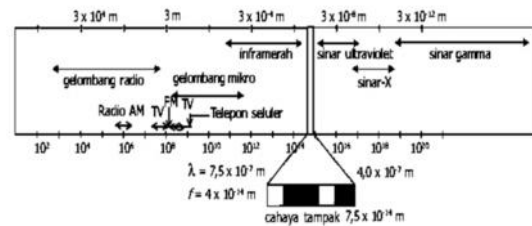
1. Sinar-X terjadi apabila satu berkas elektron bebas berenergi kinetik tinggi mengenai permukaan suatu logam dengan nomor atom yang tinggi. Tempat dimana elektron tersebut menumbuk logam akan merupakan sumber sinar dengan daya tembus yang besar⁽⁶⁾. Beda potensial yang tinggi antara anoda dan katoda akan menyebabkan bahwa sesampainya di anoda, elektron yang dipancarkan oleh katoda memiliki energi kinetik yang cukup tinggi. Elektron-elektron inilah yang dalam tumbukannya dengan anoda menimbulkan pemancaran sinar-X oleh anoda.



Gambar. 2 : Proses pembentukan sinar-X bremstahlung⁽⁶⁾

2. Sinar-X dapat juga terbentuk dalam proses perpindahan elektron-elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah, misalnya dalam proses

lanjutan efek fotolistrik. Sinar-X yang terbentuk dengan cara seperti ini mempunyai energi yang sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi yang bersangkutan. Karena energi ini berbeda untuk setiap jenis atom, maka sinar yang terbentuk dalam proses ini disebut sinar-X karakteristik dengan panjang gelombang 0,1 – 1 Å.



Gambar. 3: Spektrum Gelombang Elektromagnetik⁽²⁾

Sinar-X adalah foton-foton yang mempunyai energi tinggi, karena elektron memancarkan energi maka energi kinetik elektron akan berkurang dan akhirnya akan kehilangan seluruh energi kinetiknya. Energi foton maksimum atau panjang gelombang minimum dapat ditulis dengan persamaan:⁽³⁾

$$hf_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad \dots\dots\dots(I.1)$$

Jadi dalam proses ini akan terjadi spektrum kontinyu, spektrum tersebut mempunyai frekuensi *cut off* (batasan) atau panjang gelombang *cut off* yang tergantung pada potensial percepatan. Elektron-elektron yang ditembakkan akan mengeksitasi elektron dalam atom target⁽⁷⁾.

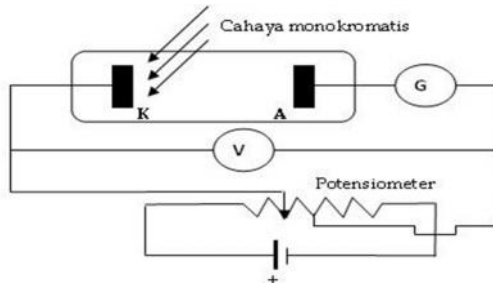
Interaksi Sinar-X dengan Materi

Ketika Sinar-X melewati materi maka akan terjadi 3 mekanisme sebagai bentuk interaksi materi dengan Sinar-X, yaitu; Efek Fotolistrik, Hamburan Compton, dan Produksi Pasangan.

1. Efek Fotolistrik

Pada efek fotolistrik, permukaan sebuah logam disinari dengan seberkas cahaya dan sejumlah elektron yang terpancar

dari permukaannya. Dalam studi eksperimental terhadap efek fotolistrik, diukur bagaimana laju dan energi kinetik elektron yang terpancar bergantung pada intensitas dan panjang gelombang sumber cahaya. Percobaan ini harus dilakukan dalam ruang hampa, agar elektron tidak kehilangan energinya karena bertumbukan dengan molekul-molekul udara.



Gambar. 4 : Efek fotolistrik⁽⁶⁾

Pada Gambar di atas, cahaya yang monokromatis menyinari permukaan logam katoda K sehingga menyebabkan elektron terlepas dan terpancar keluar dari permukaan katoda. Ketika elektron bergerak menuju anoda A, pada rangkaian luar terjadi arus listrik yang sangat kecil yang diukur dengan Galvanometer G. Secara eksperimen, tegangan perlambat terus diperbesar hingga pembacaan arus pada Galvanometer menurun ke nol. Tegangan yang bersangkutan ini disebut potensial henti (stopping potential) V_s . Karena elektron yang berenergi tertinggi tidak dapat melewati potensial henti ini, maka pengukuran V_s merupakan suatu cara untuk menentukan energi kinetik maksimum elektron K_{maks} :

$$K_{maks} = e V_s \dots\dots\dots (I.2)$$

Dalam hal ini, e adalah muatan elektron dan V_s adalah potensial pemberhenti dalam orde beberapa volt. Disebut potensial pemberhenti karena pada harga tersebut arus foto listrik menjadi nol.⁽⁶⁾ Pada penyinaran, energi radiasi akan diserap seluruhnya. Energi yang diserap

itu dipergunakan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan inti. Peristiwa ini dialami elektron-elektron pada kulit bagian dalam misalnya kulit K. Elektron yang dikeluarkan/terpancar keluar dinamakan fotoelektron dengan membawa energi kinetik sebesar E .⁽⁸⁾

$$E = hf_o - E_i \dots\dots\dots (I.3)$$

E_i = energi ikatan elektron pada lintasannya

2. Hamburan Compton

Pada hamburan Compton, foton dengan energi $h\lambda_i$ berinteraksi dengan elektron terluar dari atom, selanjutnya foton dengan energi $h\lambda_o$ dihamburkan dan sebuah fotoelektron lepas dari ikatannya. Energi kinetik elektron (E_e) sebesar selisih energi foton masuk dan foton keluar.

$$E_e = h\lambda_i - h\lambda_o \dots\dots\dots (I.4)$$

Hamburan Compton sangat dominan terjadi bila foton mempunyai energi sedang (di atas 0,5 MeV) dan lebih banyak terjadi pada material dengan nomor massa (Z) yang rendah.⁽⁵⁾

Faktor- Faktor yang Berpengaruh Pada Citra

1. Arus Tabung (mA)

Arus akan berpengaruh pada intensitas sinar-X atau derajat terang/ brightness. Dengan peningkatan mA akan menambah intensitas sinar-X dan sebaliknya. Oleh sebab itu derajat terang dapat diatur dengan mengubah mA.

2. Tegangan Tabung (kV)

Tegangan tinggi merupakan daya dorong elektron di dalam tabung dari katoda ke anoda. Supaya dapat menghasilkan sinar-X daya dorong ini harus kuat sehingga mampu menembus objek. Dengan demikian perubahan kV sangat

berpengaruh terhadap daya tembus sinar-X.⁽¹⁶⁾

Pesawat Computed Radiography

Sistem *Computed Radiography* (CR) adalah teknik pencitraan radiografi yang mengubah sistem analog menjadi digital menggunakan *photo-stimulable phosphor* (PSP) untuk akuisisi data dan pemrosesan citra⁽³⁾ dalam format *dicom* (digital imaging and communication in medicine), sehingga bila dilakukan pembesaran ukurannya tidak akan mengalami perubahan dan resolusi tetap⁽⁹⁾.

CR tidak dapat menampilkan citra organ dengan warna seperti organ aslinya karena data yang diolah dalam IP berupa energi sinar-X, yang setelah menembus bahan mengalami atenuasi, absorpsi dan hamburan tergantung dari nilai koefisien atenuasi dan ketebalan organ. IP memiliki sensitifitas yang berbeda dalam menangkap energi radiasi yang menembus bahan, prinsip dalam menghasilkan citra radiografi, energi yang sedikit mengenai *barium fluoro-halide* akan menampilkan citra berwarna putih (*radio opaque*) demikian sebaliknya⁽²⁾. Pada tahap merubah energi dari analog ke digital sistem komputerisasi sistem CR hanya dapat mengolah data berupa bilangan logika yaitu 1 atau 0 yang nantinya akan ditampilkan berupa citra skala abu-abu (*grayscale*) atau *pixel value* (PV) pada layar monitor dalam matrik-matrik data⁽⁹⁾.

Image Plate

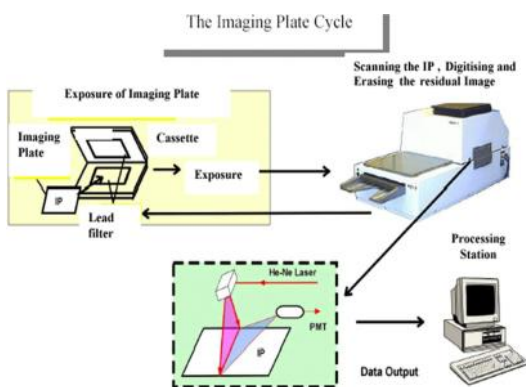
Pada *Computed Radiography* (CR) *Imaging Plate* terdiri dari lapisan *photostimulable phosphor*. Lapisan ini terdiri dari Kristal Ba Fx: Eu²⁺ (*Europium-Barium Fluorohalide*). Fosfor yang terdapat didalam IP apabila terkena energi foton sinar-X maka IP akan menangkap dan menyimpan energi (elektron) tersebut. Pada IP tidak terdapat perubahan konstruksi kimiawi sebagai proses terbentuknya citra karena pada IP untuk menghasilkan citra

melalui beberapa proses, diantaranya proses transport data yaitu memindahkan data dari IP ke komputer. Transport data dapat terjadi dengan adanya perubahan data. Elektron yang ditangkap dan disimpan pada fosfor akan dilepaskan setelah dilakukan pembacaan atau *scanner* pada imaging⁽¹⁰⁾.

Struktur lapisan IP diuraikan sebagai berikut ; lapisan pelindung (*protective layer*) merupakan lapisan tipis, dan transparan berfungsi untuk melindungi IP. Lapisan phosphor merupakan lapisan yang mengandung *bariumfluorohalide* dalam bahan pengikatnya. Lapisan Pemantul (*reflective layer*) merupakan lapisan yang terdiri dari partikel yang dapat memantulkan cahaya. Lapisan konduktif (*conductive layer*) merupakan lapisan yang terdiri dari kristal konduktif yang berfungsi untuk mengurangi masalah yang disebabkan oleh gesekan elektrostatis, selain itu kristal ini juga mempunyai kemampuan untuk menyerap cahaya sehingga dapat meningkatkan ketajaman citra. Lapisan penyangga (*support layer*) merupakan lapisan yang berfungsi menyangga lapisan diatasnya. Lapisan pelindung bagian belakang (*backing layer*) merupakan lapisan untuk melindungi IP selama proses pembacaan (*readout*) didalam *Image Reader*. Pemberi kode dan identitas (*barcode label*) digunakan untuk memberikan nomor seri dan untuk mengidentifikasi partikel pada IP tertentu yang kemudian dapat dihubungkan dengan identifikasi pasien.⁽¹¹⁾

Laser imaging film adalah film single emulsi yang dilapisi oleh Kristal silver halide yang sensitif terhadap cahaya merah yang dipancarkan oleh laser. Struktur lapisan *laser imaging film* antara lain : lapisan pelindung (*supercoat*) yang merupakan lapisan pelindung film dari kerusakan fisik dan dari goresan, biasa disebut lapisan anti gores. Lapisan emulsi berupa lapisan lembut yang mudah rusak oleh proses

kimia, fisik dan temperatur merupakan lapisan sensitif terhadap radiasi yang terdiri dari silver halide yang terikat dengan gelatin murni. Lapisan perekat (*substratum*) merupakan lapisan perekat, disebut juga *adhesive layer* yang terletak antara emulsi dan *base film*, berguna untuk merekatkan dasar film dengan emulsi. Lapisan *base film* merupakan lapisan yang terbuat dari *polyester* atau *celulose acetate* setebal 0,2 mm, berfungsi sebagai pengaman karena sifatnya tidak mudah terbakar bila dibandingkan dengan bahan kertas, dan sebagai lembar penyangga emulsi film dengan lapisan-lapisan lainnya. Lapisan anti bengkok (*anticurl backing*) berfungsi menjaga film agar tetap lurus setelah prosesing, dan lapisan pewarna (*anti-halation layer*) adalah bahan pewarna yang terdapat dalam gelatin pada *anti-curl backing* ⁽¹¹⁾



Gambar. 5. Sistem Kerja Image Plate ⁽¹³⁾

Kaset

Kaset pada Computed Radiografi (CR) terdiri dari karbon fiber pada bagian depan (*tube side*) dan aluminium (Al) pada bagian belakangnya.

Image Reader

Imaging Plate Reader adalah salah satu komponen lain dari control akuisisi CR. Pembacaan gambar laten yang tersimpan dalam *Image Plate* dilakukan oleh laser yang terdapat dalam *plate imaging reader* ⁽¹⁴⁾.

Dry Processing

Metode *dry processing* mengacu pada pembangkitan gambaran tanpa menggunakan cairan kimia.

Film Laser Imaging

Merupakan alat pengolah gambar dan memprosesnya diatas film. *Laser printer* dilengkapi dengan *multi formatter main features* yang memungkinkan untuk memformat gambar dan mengolah gambar lebih tajam dan fungsi-fungsi yang terus berkembang. Film yang digunakan adalah photo thermographic yang tidak menggunakan butiran perak halida, tapi butiran perak behenate ($\text{Ag}_{22}\text{H}_{43}\text{O}_2$).

Pembuatan Kurva Karakteristik.

Berikut langkah-langkah membuat kurva karakteristik:

1. Siapkan kertas bergaris (*cross line*) yang halus.
2. Buat garis lurus untuk sumbu Y (vertikal) dan X (horizontal)
3. Sumbu Y menunjukkan densitas. Gunakan skala 0,5 dengan nilai maksimal 4,0. Sumbu Y adalah nilai densitas dari tiap step.
4. Sumbu X adalah nilai relative exposure atau nomor step. Angka yang digunakan pada sumbu X dapat dilihat pada tabel berikut.
Tabel II.1. Nilai Relative eksposure
5. Plot kurva sesuai data yang diperoleh. ⁽¹⁷⁾

Pada Computed Radiography, Kurva karakteristik yang dihasilkan membentuk garis linier ⁽²⁾

Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan di unit Radiologi RSUP. Universitas Hasanuddin Makassar pada bulan April Mei 2014.

Adapun prosedur penelitian sebagai berikut :

- a. Persiapan alat dan bahan
- b. Meletakkan *stepwedge* diatas kaset.

- c. Mengatur jarak antara titik fokus tabung sinar-X dengan film/IP (FFD) sejauh 107 cm.
- d. Mengatur luas lapangan penyinaran 25 cm x 13 cm.
- e. Melakukan eksposi setelah terlebih dahulu mengatur :
 - 1) Arus Tabung tetap : 10 mAs dengan Variasi Tegangan Tabung 70 kV, 81 kV, dan 90 kV.
 - 2) Tegangan Tabung tetap : 70 kV dengan Variasi Arus Tabung 6,3 mAs, 8 mAs, 10 mAs, dan 12,5 mAs.
 - 3) Tegangan Tabung 81 kV dengan Variasi Arus Tabung 6,3 mAs, 8 mAs, 12,5 mAs
 - 4) Tegangan Tabung 90 kV dengan Variasi Arus Tabung 6,3 mAs, 8 mAs, 12,5 mAs
- f. Proses gambar secara digital.
- g. Lakukan pengukuran densitas dengan densitometer
- h. Analisis data
- i. Plotting kurva
- j. Kesimpulan

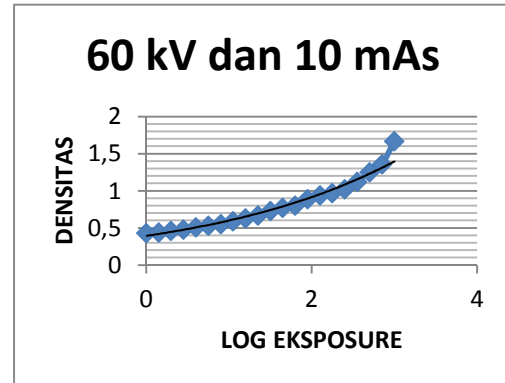
Pembahasan

Sensitifitas erat kaitannya dengan speed film yaitu kecepatan film dalam merespon cahaya tampak atau sinar-X dan mengubahnya menjadi bayangan. Menurut definisi dari ANSI (American National Standards Institute), kecepatan film sinar-X adalah eksposi yang dibutuhkan oleh suatu film untuk mencapai nilai net density sebesar 1. Salah satu fungsi dari kurva karakteristik film adalah penggunaannya dalam menilai speed film.

Dalam penelitian ini yang ingin ditentukan adalah sensitifitas IP (*Image Plate*) dimana kurva karakteristik IP/ *screen film Image receptor* pada *Computed Radiography* cenderung linear jika dibandingkan dengan kurva karakteristik film radiografi konvensional. Berdasarkan data pengukuran densitas *stepwedge* dengan

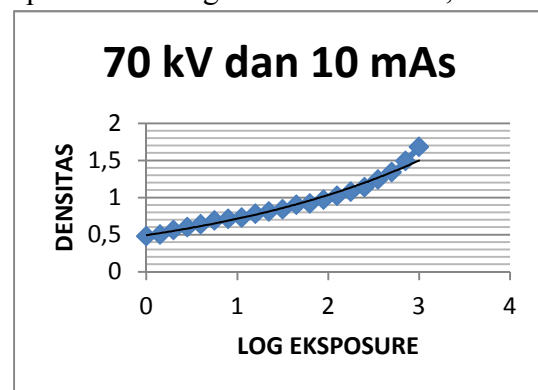
metode sensitometri menghasilkan Gambar sebagai berikut:

Kurva Densitas dengan variasi Tegangan pada Arus Tetap sebesar 10 mAs



Gambar 6. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 60 kV dan Arus 10 mAs

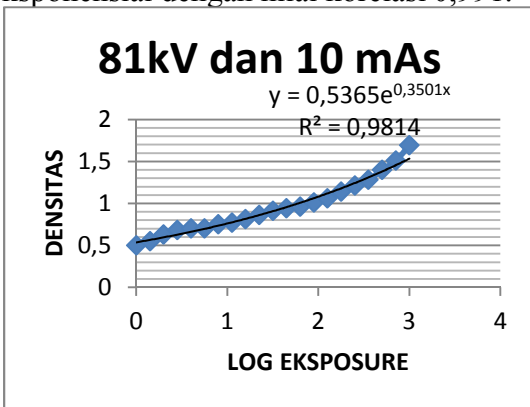
Gambar 6 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,67 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,43 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas menunjukkan bahwa kombinasi tegangan 60 kV dan arus 10 mAs membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,989.



Gambar 7. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 70 kV dan Arus 10 mAs

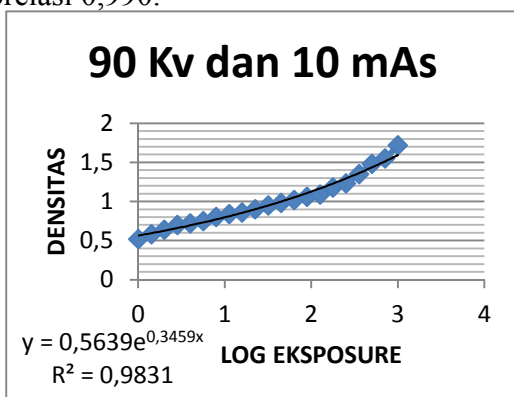
Gambar 7 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik

puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,68 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,48 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas menunjukkan bahwa kombinasi tegangan 70 kV dan arus 10 mAs membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,991.



Gambar 8. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 81 kV dan Arus 10 mAs

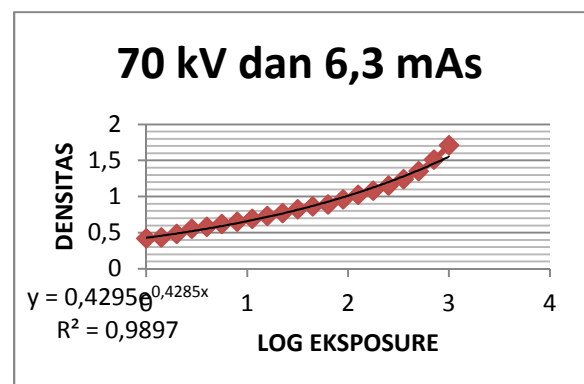
Gambar 8 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,69 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,5 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,990.



Gambar 9. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 90 kV dan Arus 10 mAs

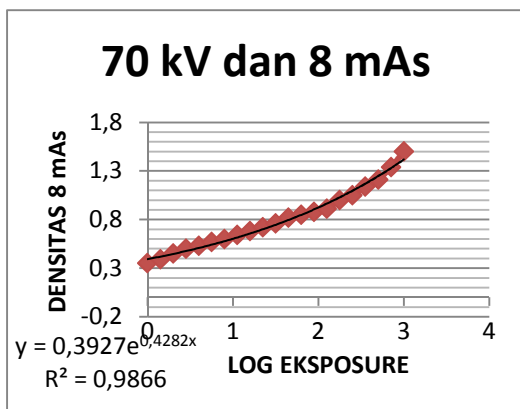
Gambar 9 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,72 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,52 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,991.

Data pengukuran densitas *stepwedge* dengan metode sensitometry pada bagian diatas menunjukkan bahwa penggunaan variasi tegangan (60 kV, 70 kV, 81 kV, 90 kV) pada arus sebesar 10 mAs terlihat bahwa tidak ada pengaruh tegangan terhadap densitas ketika menggunakan arus sebesar 10 mAs. Seluruh kurva yang diperoleh berbentuk eksponensial dengan nilai korelasi paling tinggi sebesar 0,991 diperoleh pada penggunaan 70 kV dan 10 mAs. Penyebab rendahnya nilai densitas karena sebagian besar transmisi sinar-X diserap oleh *stepwedge* dan hanya sebagian kecil yang diteruskan ke *image plate*. Hal ini terjadi karena tegangan berhubungan dengan kualitas sinar-X yang dihasilkan. Kualitas sinar-X berarti kekuatan sinar-X untuk menembus objek (*Stepwedge*). Semakin tinggi tegangan (kV) yang diberikan maka semakin kuat daya tembus dari sinar-X yang dihasilkan tersebut.



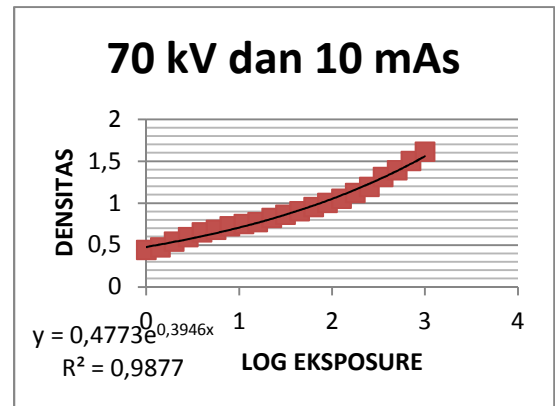
Gambar 10. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 70 kV dan Arus 6,3 mAs

Gambar 10 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,71 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,42 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas menunjukkan bahwa kombinasi tegangan 70 kV dan arus 6,3 mAs membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,994. Hal ini terjadi karena dalam penggunaan CR



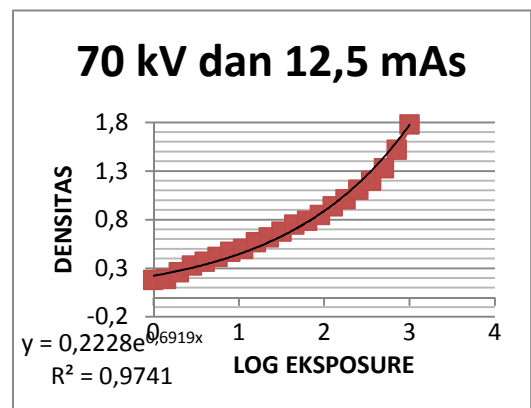
Gambar 11. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 70 kV dan Arus 8 mAs

Gambar 11 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,5 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,35 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas menunjukkan bahwa kombinasi tegangan 70 kV dan arus 8 mAs membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,992.



Gambar 12. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 70 kV dan Arus 10 mAs

Gambar 12 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,5 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,35 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas menunjukkan bahwa kombinasi tegangan 70 kV dan arus 10 mAs membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,980.



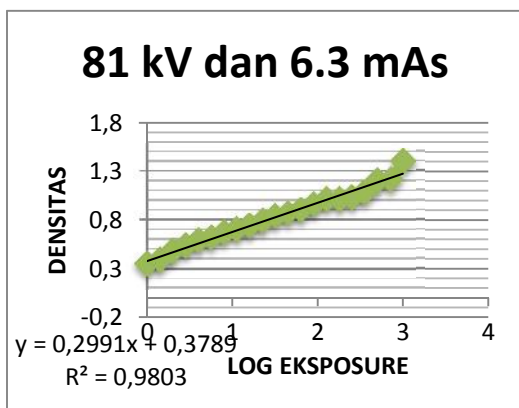
Gambar 13. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 70 kV dan Arus 12,5 mAs

Gambar 13 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,78 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,18 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log

Eksposure terhadap nilai densitas menunjukkan bahwa kombinasi tegangan 70 kV dan arus 12,5 mAs membentuk kurva eksponensial dengan nilai korelasi 0,986.

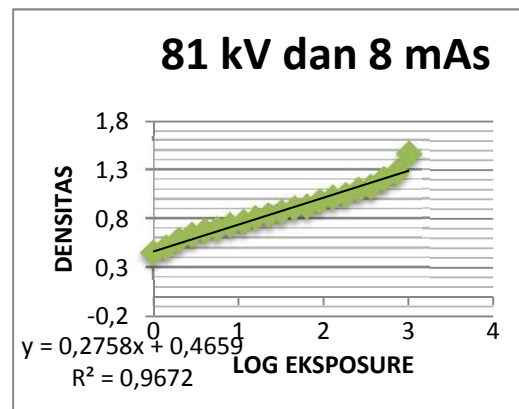
Data pengukuran densitas *stepwedge* dengan metode sensitometry pada bagian IV.3 diatas menunjukkan penggunaan tegangan tetap 70 kV dengan berbagai variasi arus. Berdasarkan kurva terlihat bahwa seluruh kurva yang diperoleh, berbentuk eksponensial.hal ini berarti tidak ada pengaruh perubahan arus tabung ketika menggunakan tegangan sebesar 70 kV. Korelasi tertinggi yang diperoleh pada penggunaan tegangan 70 kV dan arus 6,3 mAs yaitu sebesar 0,994.

Kurva Densitas dengan variasi Arus pada Tegangan 81 kV,



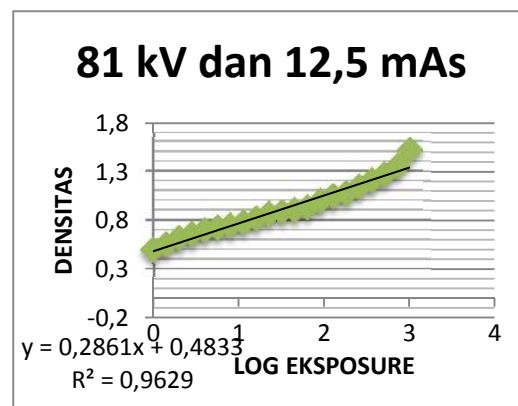
Gambar 14. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 81 kV dan Arus 6,3 mAs

Gambar 14 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,4 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,35 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva linier dengan nilai korelasi 0,989.



Gambar 15. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 81 kV dan Arus 8 mAs

Gambar 15 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,46 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,44 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva linier dengan nilai korelasi 0,983. Nilai densitas berubah pada setiap titik ini dikarenakan ketebalan *stepwedge* yang juga bervariasi pada setiap tingkatannya. Variasi ketebalan ini membentuk pola gelap terang pada *image plate* / film dimana pada step 1 gambarannya lebih terang dan berangsur menghitam pada step berikutnya hingga hitam maksimal pada step ke 21.

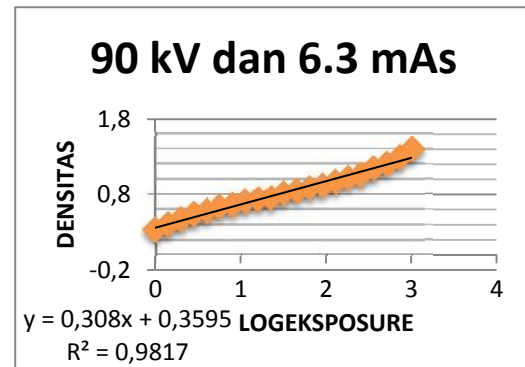


Gambar 16. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 81 kV dan Arus 12,5 mAs

Gambar 16 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,51 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,49 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva linier dengan nilai korelasi 0,980. Nilai densitas berubah pada setiap titik ini dikarenakan ketebalan *stepwedge* yang juga bervariasi pada setiap tingkatannya. Variasi ketebalan ini membentuk pola gelap terang pada *image plate* / film dimana pada step 1 gambarannya lebih terang dan berangsur menghitam pada step berikutnya hingga hitam maksimal pada step ke 21. Hal ini terjadi karena pada step 1 transmisi radiasi yang sampai ke *image plate* dianggap 0 persen karena nilai ketebalan pada step 1 mampu menyerap 100 persen radiasi yang di transmisikan oleh tabung sinar-X.

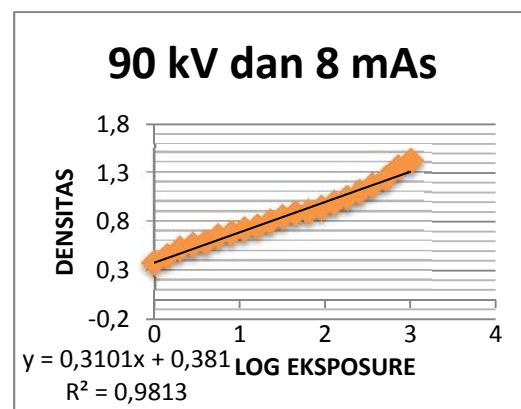
Data pengukuran densitas *stepwedge* dengan metode sensitometri pada bagian IV.4 diatas menunjukkan penggunaan tegangan 81 kV dengan berbagai variasi arus terjadi peningkatan nilai densitas untuk setiap variasi arus dimana ketika arus dinaikkan maka nilai densitas juga meningkat. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan tegangan 81 kV berpengaruh terhadap densitas yang dibentuk oleh *Image Plate*.

Kurva Densitas dengan variasi Arus pada Tegangan 90 kV



Gambar 17. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 90 kV dan Arus 6,3 mAs

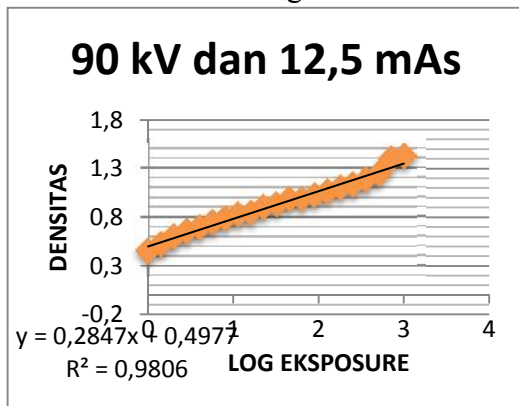
Gambar 17 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,39 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,33 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva linier dengan nilai korelasi 0,990.



Gambar 18. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 90 kV dan Arus 8 mAs

Gambar 18 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,41 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,37 berada pada titik ke 1

log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva linier dengan nilai korelasi 0,990. Nilai densitas berubah pada setiap titik ini dikarenakan ketebalan *stepwedge* yang juga bervariasi pada setiap tingkatannya. Variasi ketebalan ini membentuk pola gelap terang pada *image plate* / film dimana pada step 1 gambarannya lebih terang dan berangsur menghitam pada step berikutnya hingga hitam maksimal pada step ke 21. Hal ini terjadi karena pada step 1 transmisi radiasi yang sampai ke *image plate* dianggap 0 persen karena nilai ketebalan pada step 1 mampu menyerap 100 persen radiasi yang di transmisikan oleh tabung sinar-X.



Gambar 19. Kurva Densitas pada penggunaan Tegangan 90 kV dan Arus 12,5 mAs

Gambar 19 memperlihatkan sebaran nilai densitas pada 21 titik dengan kisaran log exposure 0,0 hingga 3,0 dimana titik puncak yang menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,42 berada pada titik ke 21 log exposure 3,0 sedangkan nilai densitas terendah yaitu 0,45 berada pada titik ke 1 log exposure 0,0. Hubungan antara Log Exposure terhadap nilai densitas membentuk kurva linier dengan nilai korelasi 0,989.

Data pengukuran densitas *stepwedge* dengan metode sensitometri pada bagian diatas terlihat bahwa nilai densitas paling baik terdapat pada penggunaan tegangan 90 kV dan 12,5 mAs. Jika dinilai berdasarkan

korelasinya maka kurva yang nilai korelasinya paling mendekati 1 adalah pada penggunaan tegangan 90 kV dan arus 6,3 mAs juga pada penggunaan tegangan 90 kV dan arus 8 mAs dimana nilai korelasi keduanya mencapai 0,990. Hal ini berarti penggunaan tegangan 90 kV lebih baik dibandingkan penggunaan tegangan 81 kV dalam hal densitas yang dihasilkan. Tegangan 90 kV lebih besar daripada 81 kV artinya daya tembusnya juga lebih besar, dengan demikian daya tembus sinar-X sangat berpengaruh terhadap pola densitas yang sampai ke *Image Plate*.

Gambar 10 kurva densitas pada 70 kV dan 6,3 mAs membentuk kurva eksponensial dengan korelasi sebesar 0,994. Gambar 14 kurva densitas pada 81 kV dan 6,3 mAs membentuk kurva linier dengan korelasi 0,989. Gambar 17 kurva densitas pada 90 kV dan 6,3 mAs membentuk kurva linier dengan korelasi 0,990. Dari sini dapat disimpulkan bahwa untuk penggunaan Arus 6,3 mAs kurva yang memenuhi syarat CR yaitu linier dengan korelasi tertinggi diperoleh pada penggunaan 90 kV.

Pada penggunaan *Computed Radiography* (CR) dalam radiodiagnostik harus menggunakan tegangan tabung diatas 70 kV agar sinar-X yang dihasilkan mampu menembus objek dan menghasilkan densitas yang sesuai. Sinar-X yang melewati objek kemudian ditangkap oleh *image plate* (IP) untuk selanjutnya diproses menjadi citra radiografi. Dalam penelitian ini tegangan yang diatas 70 kV yaitu tegangan 81 kV dan 90 kV dimana kurva yang diperoleh untuk kedua tegangan ini berbentuk linier sesuai dengan teori yang mendasari penelitian ini.

Kesimpulan

1. Densitas terbesar yang diterima *image plate* diperoleh pada tegangan 90 kV dan 12,5 mAs dengan korelasi kurva mencapai 0,990.

2. Dengan penggunaan faktor eksposi dengan variasi arus dan tegangan nilai densitas pada *image plate* lebih dipengaruhi oleh Tegangan dibandingkan Arus yang diberikan, dengan ketentuan Tegangannya diatas 70 kV.
3. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan data yang diperoleh, sensitifitas *Image Plate* (IP) sangat dipengaruhi oleh tegangan dan arus tabung. Penggunaan CR dalam radiodiagnostik memerlukan tegangan tabung yang tinggi untuk keperluan rekonstruksi gambar, sedangkan untuk sensitifitas *Image Plate* (IP) dipengaruhi oleh arus tabung (mAs).
4. Nilai sensitifitas paling baik pada respon *Image Plate Computed Radiography* dengan merk *iCRco* diperoleh dengan menggunakan faktor eksposi tegangan 90 kV dengan arus 6,3 mAs dan 8 mAs. Hal ini didasarkan pada kurva yang dibentuk linier dengan nilai korelasi mencapai 0,990. Sedangkan untuk arus 10 mAs densitas yang diperoleh tidak merata karena arus berpengaruh terhadap kuantitas keluaran sinar-X
5. Darmawan . (1987). Fisika Zat Padat. *Karunika*: Jakarta
6. Krane, Kenneth Terjemahan Hans, J, Wospakrik. (1982). Fisika Modern. *UI Press* : Jakarta
7. Jauhari, Arif. (2008). *Berkas Sinar-X dan Pembentukan Gambar Pada Pesawat Sinar-X*. Puskaradim: Jakarta
8. Anonim. (2005). *Desain Penahan Ruang Sinar – X*. Pusdiklat BATAN: Jakarta
9. Aniati Murni A dan Suryana Setiawan. (1992). Pengantar Pengolahan Citra Digital. *PT Elex Media Komputindo* . UI : Jakarta
10. Ballinger, Philip W. dan Eugene D. Frank. (2003). *Merill's Atlas of Radiographic Positions and Radiologic Procedures, Tenth Edition, Volume Three*. *Mosby*: Saint Louis
11. Carlton, Richard R. dan Arlene M. Adler. (2001). *Principles of Radiographic Imaging : An Art and Science*. *Thomson Learning*: USA
12. Winarno, Guntur. (2012). Tesis “*Optimasi Citra Radiografi dan Entrance Surface Dose (ESD) Menggunakan System Fuji Computed Radiography (FCR)*”. FMIPA UI: Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

1. Seibert, J.A. etc. (2006). American Association of Physicists in Medicine Report No.93. Acceptance Testing and Quality Control of Photostimulable Storage Phosphor Imaging Systems. *One Physics Ellipse College Park*
2. Bhusong, Stewart Carlyle. (2008). *Radiologic Science For Technologisth, Physics, Biology, and Protection*, Ninth Edition. *Mosby Elsevier* : Canada
3. Bambang , SW. (1986) . Fisika Atom. *Karunika*: Jakarta
4. Beiser, Arthur Terjemahan The Houw Liong. (1990). *Konsep Fisika Modern*. *Erlangga*: Jakarta
13. Plasek, Terry. (2010). *Computed Radiography Key Elements for Consideration. Fuji Film NDT Systems: Atlanta*
www.aws.org/conferences/newweldingtech/plasek.pdf - diakses pada **Jumat, 17 februari 2014 : 10.41 wita**
14. Greene, E. Reginald dan Jorg Wilhelm Oestman. (1992). *Computed Digital Radiography in Clinical Practice*. *Thieme Medical Publishers*: New York
15. Bidayatul, Armynah. Bualkar, Adullah. Dan Nurul Jannah. *Analisis Kurva Karakteristik Image Plate Computed Radiography (CR) Sebagai Indikator Sensitifitas Terhadap Sinar-X*. Akan dipublikasikan pada tahun 2015